

## BULANIK MANTIK KULLANILAN ORTALAMA KAN BASINCININ DENETİMİ

Z. Hakan AKPOLAT, Engin AVCI\*, Levent AVCI\*\*

\*Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü  
ELAZIĞ

\*\*Fırat Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Anesteziyoloji ve Reanimasyon Anabilim Dalı  
ELAZIĞ

### ÖZET

Bu makalede, anestezi süresince bir hastanın ortalama atardamar kan basıncının (OKB) denetimi için Mamdani tipi bir bulanık mantık denetleyici tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, gelecekte yapılabilecek gerçek uygulamalara bir zemin oluşturmaktır. Benzetimi yapılan denetim sisteminde anestezi altındaki hasta, zaman gecikme terimleri içeren doğrusal bir matematiksel modelle temsil edilmiştir. Denetlenen sistemin parametre değişimlerine karşı dayanıklı bir denetim elde etmek için bulanık mantık denetleyicinin parametreleri ayarlanmıştır. Modern denetim genellikle bir mikroişlemci ile gerçekleştirildiğinden, denetim sisteminin ayrık zaman analiz ve tasarımı makalede verilmiştir. Sistem parametre değişiklikleri altında önerilen bulanık mantık denetleyicinin dayanıklı denetim performansı gösterdiği benzetim sonuçları sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Bulanık mantık denetim, anestezi, ortalama kan basıncı denetimi.

## CONTROL OF MEAN ARTERIAL PRESSURE USING FUZZY LOGIC

### ABSTRACT

In this paper, a Mamdani type fuzzy logic controller is designed and developed for the control of Mean Arterial Pressure (MAP) of a patient during the anesthesia. The main purpose of the study is to constitute a basis for the further real applications. In the simulated control system, the patient under anesthesia is represented with a linear mathematical model including time delay elements. The parameters of the fuzzy logic controller are tuned in order to obtain a robust control performance against the plant parameter variations. Since the modern control is usually realized by using a microprocessor, the discrete time analysis and design of the control system are given in the paper. The simulation results showing the robust control performance of the proposed fuzzy logic controller under the plant parameter variations are presented.

**Key words :** Fuzzy logic control, anesthesia, control of Mean Arterial Pressure

### 1. GİRİŞ

Denetim sistemlerinde kullanılan denetim yöntemleri, yapılacak işin niteliğine bağlı olarak çeşitlilik kazanmış ve değişik denetim yöntemleri ortaya çıkmıştır. Bu yöntemlerden biride bulanık denetim yöntemidir. Bulanık mantık ve bulanık küme teorisi, ilk kez 1965 yılında aslen Azerbaycanlı Prof. Dr. Lotfi A. Zadeh tarafından ortaya atılmış (1) ve hızla gelişerek birçok bilim adamının ilgisini çeken araştırmaya açık yeni bir konu olmuştur. Bulanık mantık, denetim, haberleşme, entegre devre üretimi, işletme, tıp ve psikoloji gibi bir çok farklı alanda uygulanmış fakat en önemli uygulamalar ve çalışmalar bulanık denetim alanında olmuştur.

Anestezi kavramı kısaca, ameliyat anında ve ameliyattan sonra hastanın acı çekmesini önlemek için anestezi uzmanı tarafından hastaya yapılacak müdahalelerin tümüdür. Anesteziye bulanık denetim tekniğinin kullanılmasının başlıca nedeni, anestezi uzmanının bilgi ve tecrübesini bulanık denetleyicinin karar mekanizmasına katarak, anestezi altındaki hasta insan modelinin çeşitli pa-

rametrelerinin değişimine karşı dayanıklı bir denetim yapmaktır.

Bulanık denetim uygulamalarının olduğu bir alan da anesteziye dir. Bu alanda günümüze kadar başarılı çalışmalar yapılmıştır (2)-(4). Ancak bu çalışmalarda kullanılan insan modelindeki parametrelerinin değişimi detaylı olarak ele alınmamıştır. Anesteziye denetim yapılırken anestezi derinliğinin ölçülmesi için ameliyat anında hastanın göz bebeği büyüklüğü, kalp atım hızı, ortalama kan basıncı vb. belirtileri göz önüne alınır ve bu belirtilerden biri veya birden fazlası referans alınarak hastaya verilecek anestezi gazının miktarına anestezi uzmanı tarafından karar verilir. Ancak anestezi uzmanının bu karar verme süresini iyi ayarlaması gerekir ki bu da hastanın hayati tehlikeye maruz kalmaması için çok önemlidir. Bu ve bunun gibi önemli sebeplerden ötürü, anestezi denetiminin otomatik olarak bilgisayarla yapılması, ameliyat ve anestezinin daha kolay ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlayacaktır. Böylece anestezi uzmanı ameliyat anındaki diğer önemli görevleri için daha fazla zaman kazanmış olacaktır. Anestezi uzmanının bilgi ve tecrübelerini denetleyiciye ak-

tarma özelliği olduğundan bilgisayarla yapılacak denetim için en uygun yöntemlerden biri olarak bulanık denetim yöntemi düşünülür.

Bu çalışmanın yapılmasındaki temel amaç, kullanılan insan modelinin çeşitli parametrelerinin belirli oranlarda değişimine karşı dayanıklı denetim sağlayan bir bulanık denetleyici tasarlayarak bu denetim sisteminin benzetimini yapmak ve böylece gelecekte yapılabilecek gerçek uygulamalara bir zemin oluşturmaktır.

## 2. BENZETİM ÇALIŞMALARINDA KULLANILACAK İNSAN MODELİNİN ELDE EDİLMESİ

Denetim açısından olaya bakıldığında, anestezi altındaki hasta denetlenen sistem olarak algılanacağından, benzetim çalışmalarında kullanılmak üzere insanın (hastanın) dinamik bir matematiksel modeline ihtiyaç vardır. Aslında insan gibi karmaşık bir yapının tam olarak matematiksel modelini elde etmek mümkün değildir. Ancak benzetim çalışmalarında kullanmak için yaklaşık da olsa mutlaka bir matematiksel modele ihtiyaç duyulur. Bu matematiksel modelde sistem girişi olarak isoflurane gaz konsantrasyonu, çıkış olarak da hastanın Ortalama Kan Basıncı (OKB) alınmaktadır. Denetim sistemi olarak olaya bakıldığında, ortalama kan basıncı, hastaya verilen anestezi gaz miktarı ile ayarlanarak ameliyat süresince hastanın uykuda kalması sağlandığı söylenebilir. Bulanık denetleyici ise istenen OKB 'yi sağlamak için gaz miktarını ayarlamaktadır. Gazın hastaya verilmesinde kullanılan yardımcı tüm birimler matematiksel modele dahil edilmiştir. Bu anlamda hastanın OKB 'sinin dolaylı olarak denetlendiği söylenebilir.

Bu çalışmada yapılan benzetimlerde, giriş değişkeni olan isoflurane gaz konsantrasyonu  $u(t)$  ile çıkış olarak alınan kan basıncı  $y(t)$  arasındaki ilişki bir transfer fonksiyonu ile temsil edilmektedir. Model, hastayı ve aynı zamanda bir yarı kapalı devre içerir. Kaynak (2)'de yapılan deneysel çalışmalar sonucunda girişine birim basamak uygulanan sistemin cevabı yani çıkış

$$y(t) = K_1[1 - e^{-a_1(t-\tau_1)}]u(t-\tau_1) + K_2[1 - e^{-a_2(t-\tau_2)}]u(t-\tau_2) \quad (1)$$

olarak belirlenmiştir. Burada  $K_1 = -3$ ,  $K_2 = -7.3$ ,  $\tau_1 = 23$  sn,  $\tau_2 = 101$  sn,  $a_1 = 0.01$ ,  $a_2 = 0.006$ 'dır.

Giriş,  $u(s) = \frac{1}{s}$  (birim basamak fonksiyonu) olduğundan sistem transfer fonksiyonu

$$G_p(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = K_1[1 - \frac{s}{s+a_1}]e^{-\tau_1 s} + K_2[1 - \frac{s}{s+a_2}]e^{-\tau_2 s} \quad (2)$$

olarak elde edilir.

Modern kontrol sistemlerinde denetim, genellikle bir mikroişlemci veya bilgisayarla gerçekleştirilir. Eğer denetlenecek sistem ölü zaman terimleri (gecikmeler) içeriyorsa, pade açılımını kullanmaya gerek kalmadan, Değiştirilmiş (Modified) Z Dönüşümü yardımı ile denetlenecek sistemin ayrık zaman transfer fonksiyonu elde edilebilir ve tasarım ayrık zamanda rahatlıkla gerçekleştirilebilir (5),(6). Buna göre, denklem (2)'de verilen insan modeli transfer fonksiyonu,

$$G_p(s) = G_{p_1}(s) + G_{p_2}(s) \quad (3)$$

olarak yazılabilir. Burada,

$$G_{p_1}(s) = \frac{K_1 a_1 e^{-\tau_1 s}}{s + a_1}, \quad (4)$$

$$G_{p_2}(s) = \frac{K_2 a_2 e^{-\tau_2 s}}{s + a_2} \quad (5)$$

dir.  $\tau_d$  gecikme zamanı olarak düşünülürse,

$$\tau_d = \ell T - mT \quad (6)$$

şeklinde yazılabilir. Burada,  $\ell$  bir tamsayı,  $m$  1'den küçük ve pozitif bir sayı,  $T$  örnekleme periyodu olmak üzere,

$$\tau_1 = \ell_1 T - m_1 T \quad (7)$$

$$\tau_2 = \ell_2 T - m_2 T \quad (8)$$

$$z^{-\ell_1} = e^{-\ell_1 T s} \quad (9)$$

olarak yazılırsa,

$$G_{p_1}(z) = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{z^{-\ell_1} a_1 K_1 e^{m_1 T s}}{s(s+a_1)} \right\} \quad (10)$$

$$G_{p_2}(z) = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{z^{-\ell_2} a_2 K_2 e^{m_2 T s}}{s(s+a_2)} \right\} \quad (11)$$

Z-dönüşüm ifadeleri elde edilir. Buna göre,

$$G_p(z) = G_{p_1}(z) + G_{p_2}(z) \quad (12)$$

$$G_p(z) = \frac{zK_1 - zK_1e^{-a_1m_1T} + K_1e^{-a_1m_1T} - K_1e^{-a_1T}}{z^{\ell_1}(z - e^{-a_1T})} + \frac{zK_2 - zK_2e^{-a_2m_2T} + K_2e^{-a_2m_2T} - K_2e^{-a_2T}}{z^{\ell_2}(z - e^{-a_2T})} \quad (13)$$

$$G_p(z) = \frac{-0.20282z^{10} + 0.10834z^9 + 0.077855z^8 - 0.38375z^2 + 0.30585z + 0.037436}{z^{13} - 1.8466z^{12} + 0.85214z^{11}} \quad (14)$$

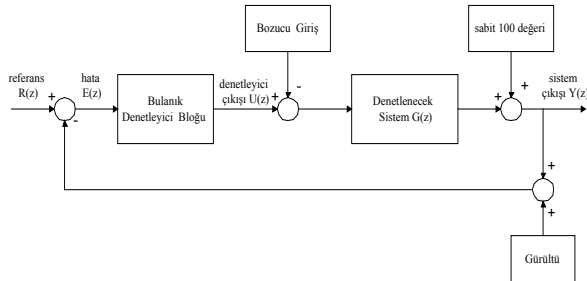
olarak elde edilir. Bu ifadede  $K_1 = -3$ ,  $K_2 = -7.3$ ,  $a_1 = 0.01$ ,  $a_2 = 0.006$ ,  $\tau_1 = 23$  sn,  $\tau_2 = 101$  sn ve  $T = 10$  sn nominal değerleri yerlerine koyulduğunda referans alınan insan modelinin bu değerler için ayrık zaman transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir:

(14)

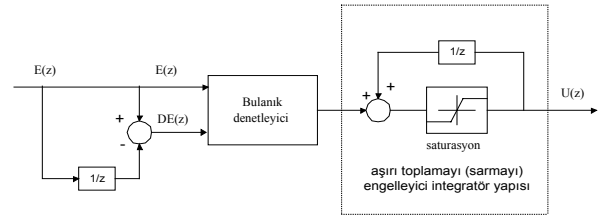
Denklem (14) ile verilen ayrık zaman transfer fonksiyonu benzetim çalışmalarında kullanılacak olan ve insan (ve yarı kapalı devreyi) temsil eden matematiksel ifadedir.

### 3. MAMDANI TİPİ BULANIK DENETLEYİCİ İLE PARAMETRE DEĞİŞİMLERİNE KARŞI ORTALAMA KAN BASINÇININ DENETİMİ

Bu bölümde sırasıyla, referans alınan insan modelindeki  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  parametre değerlerinin belirli oranlarda değiştirilmesine karşılık en iyi cevabı verecek şekilde deneme yanılma metoduna göre tasarlanan Mamdani tipi (7) bir bulanık denetleyicinin detayları ve bu bulanık denetleyici kullanılarak yapılan benzetim çalışmaları verilmiştir. Bu benzetim çalışmalarında, Denklem (14)'de verilen ve Değiştirilmiş Z-dönüşümü yöntemi ile bulunmuş insan modelinin ayrık-zaman temsili kullanılmıştır. Yapılan bu benzetim çalışmaları için MATLAB-Simulink paket programı kullanılmıştır. Benzetim çalışmalarında kullanılan blok diyagram Şekil 1'de, denetleyici bloğunun iç yapısı ise Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Benzetim çalışmalarında kullanılan denetim sisteminin blok diyagramı



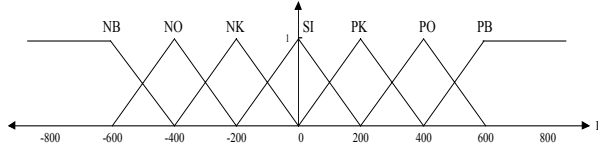
Şekil 2. Bulanık denetleyici bloğunun iç yapısı

Şekil 2'de görülen sarmayı engelleyici (anti-wind up) yapı, denetleyici çıkışı doyuma girdiğinde hatanın üst üste toplanarak büyümesini engellemek amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca Şekil 2'de gösterilen doyum yapısı, bulanık denetleyici çıkışındaki isoflurane gazının konsantrasyonunu hastayı aşırı dozdan korumak için %0 ile %4 oranları arasında sınırlandırılmıştır. Şekil 1'de görülen sabit 100 değeri, insanın ortalama kan basıncı nominal değerinin 100 mmHg olarak alındığını göstermektedir. Benzetim çalışmalarında, denetlenen sisteme, bozucu giriş olarak 500. saniyede %50 oranında (en yüksek denetleyici çıkışının %50'si) birim basamak ve gürültü olarak da benzetim süresi boyunca 0.1dB 'lik gürültü uygulanmıştır.

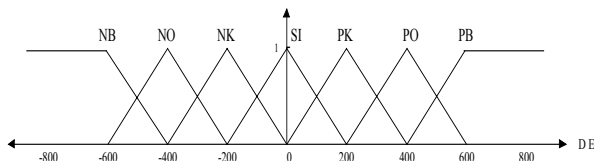
#### 3.1. Mamdani Tipi Bulanık Denetleyici

Bu bölümde, insan modelindeki parametrelerin belirli oranlarda değişimlerine karşı iyi bir sistem cevabı verecek Mamdani tipi bir bulanık denetleyici tasarımı hedeflenmiştir. Bulanık denetleyicinin giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları çok sayıda deneme yapılarak iyi bir denetim performansı sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Giriş değişkenleri olarak istenen (referans) OKB ile hastanın OKB 'si arasındaki hata (E) ve bu hatanın değişimi (DE) alınmıştır. Denetleyici çıkışı (U) benzetim çalışmalarında sistem girişi olan isoflurane

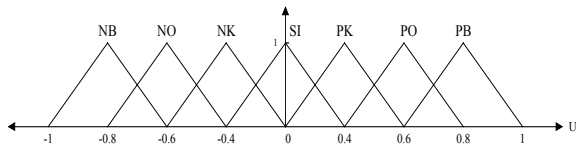
anestezi gazı konsantrasyonunu temsil etmektedir. Şekil 3 ve 4’de, bulanık denetleyicinin giriş üyelik fonksiyonları, Şekil 5’de U çıkışına ait çıkış üyelik fonksiyonları ve Tablo-I’de ise kural tabanı verilmiştir.



Şekil 3. E (hata) girişine ait üyelik fonksiyonları



Şekil 4. DE (hatanın türevi) girişine ait üyelik fonksiyonları



Şekil 5. U (bulanık denetleyici çıkışı) çıkışına ait üyelik fonksiyonları

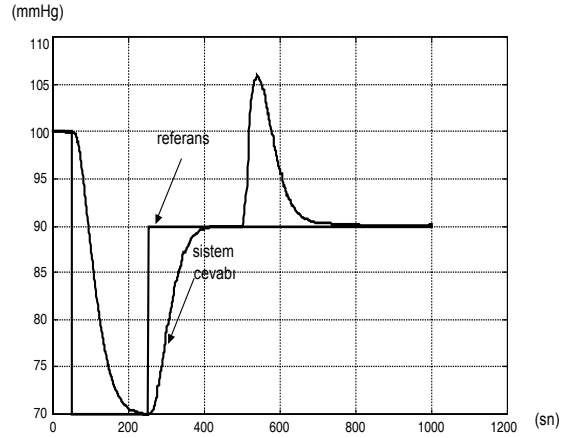
Tablo 1. Tasarlanan Mamdani tipi bulanık denetleyicinin kural tablosu

U \ E	NB	NO	NK	SI	PK	PO	PB
DE NB	PB	PB	PB	PB	PK	PO	PB
NO	PO	PO	PO	PO	PK	PO	PB
NK	PK	PK	PK	PK	PK	PO	PB
SI	PO	PK	PK	SI	NK	NO	NO
PK	NK	NK	NK	NK	NK	NO	NB
PO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NB
PB	NB	NB	NB	NB	NO	NB	NB

### 3.2. Benzetim Sonuçları

Şekil 6, nominal parametreler ( $K_1=-3$ ,  $K_2=-7.3$ ,  $\tau_1=23$  sn,  $\tau_2=101$  sn,  $a_1=0.01$ ,  $a_2=0.006$ ,

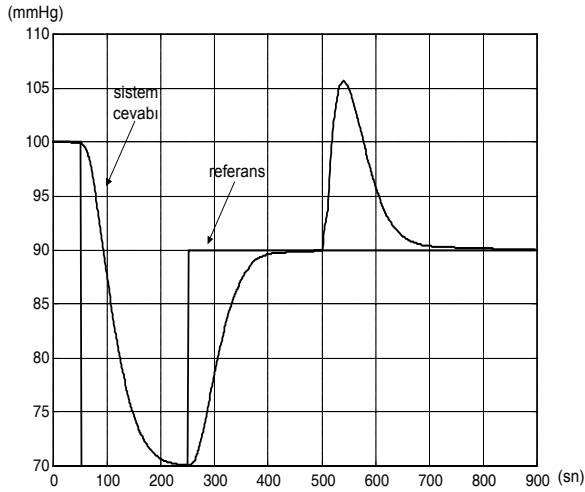
gürültü ve bozucu girişler mevcut iken) için Mamdani tipi denetleyici ile elde edilen çıkış cevabını göstermektedir.



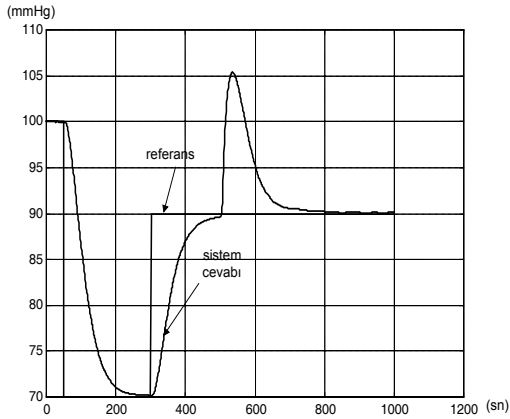
Şekil 6. Parametrelerin nominal değerleri için ( $K_1=-3$ ,  $K_2=-7.3$ ,  $\tau_1=23$  sn,  $\tau_2=101$  sn,  $a_1=0.01$ ,  $a_2=0.006$ , gürültü ve bozucu girişler mevcut iken) mamdani tipi denetleyici ile elde edilen çıkış cevabı

Bundan sonraki şekillerde parametre değişimleri altında bulunan sistem çıkış cevaplarından bazı örnekler verilerek burada tasarlanan bulanık denetleyicinin dayanıklı bir denetim sağladığı gösterilmeye çalışılmıştır. Bu örneklerin her birinde yukarıda bahsedilen parametrelerin sadece biri belirli oranlarda değiştirilirken, diğer parametrelerin değerleri nominal değerlerinde sabit olarak alınmıştır..

$\tau_1=0$  sn (%100 azaltılmış) için referans değerler ve sistem cevabı Şekil 7’de verilmiştir.  $\tau_2=50.5$  sn (%50 azaltılmış) için referans değerler ve sistem cevabı ise Şekil 8’de verilmiştir.

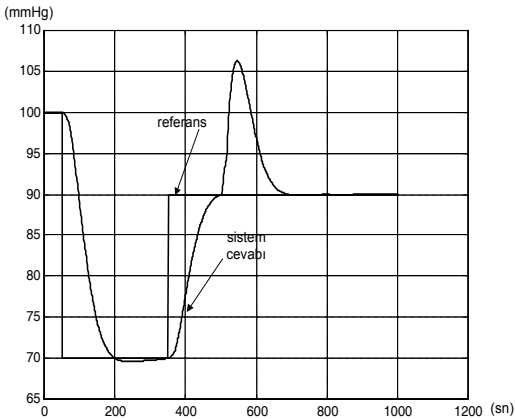


Şekil 7.  $\tau_1=0$  sn (%100 azaltılmış) için referans değerler ve sistem cevabı



Şekil 8.  $\tau_2=50.5$  sn (%50 azaltılmış) için referans değerler ve sistem cevabı

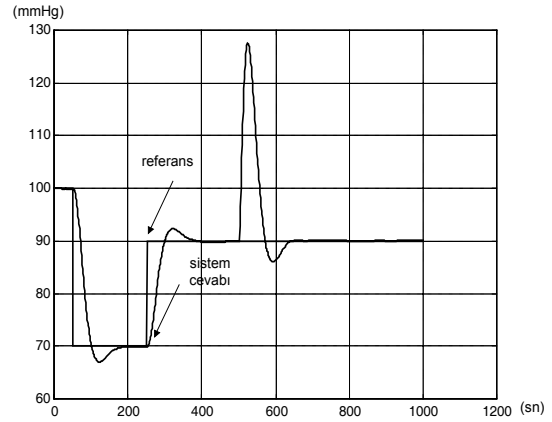
Şekil 9'da,  $\tau_2=151.5$  sn (%50 artırılmış) için referans değerler ve sistem cevabı verilmiştir.



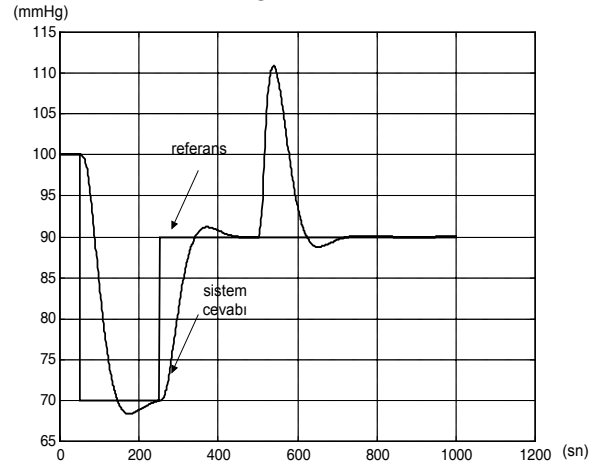
Şekil 9.  $\tau_2=151.5$  sn (%50 artırılmış) için referans değerler ve sistem cevabı

$K_1 = -21$  (%600 oranında azaltılmış) için referans değerler ve sistem cevabı Şekil 10'da

verilmiştir. Şekil 11'de ise  $K_2 = -10.95$  (%50 oranında azaltılmış) için referans değerler ve sistem cevabı verilmiştir.

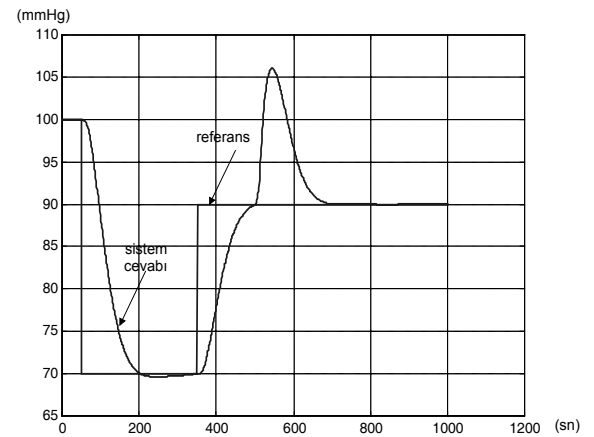


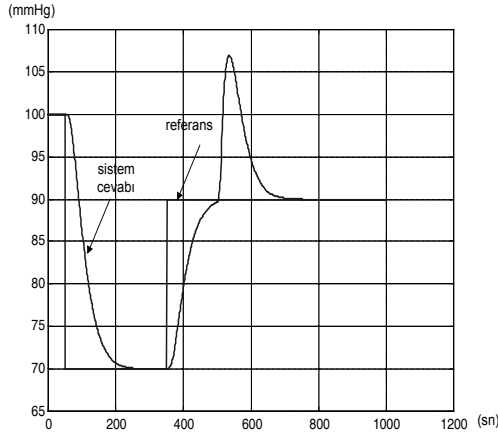
Şekil 10.  $K_1 = -21$  (%600 oranında azaltılmış) için referans değerler ve sistem cevabı



Şekil 11.  $K_2 = -10.95$  (%50 oranında azaltılmış) için referans değerler ve sistem cevabı

Referans değerler ve sistem cevabı  $a_1 = 0.005$  (%50 oranında azaltılmış) için Şekil 12'de,  $a_2 = 0.010$  (%75 artırılmış) için ise Şekil 13'de verilmiştir.



Şekil 12.  $a_1 = 0.005$  (%50 oranında azaltılmış) için referans değerler ve sistem cevabıŞekil 13.  $a_2 = 0.010$  (%75 artırılmış) için referans değerler ve sistem cevabı

Tablo-2'de görüldüğü gibi tasarlanan Mamdani tipi bulanık denetleyici, sistem parametrelerinin belirli oranlarda değişimine karşı dayanıklı bir denetim göstermektedir.  $\tau_1$  ve  $K_1$  parametrelerinin değerlerinin değişimleri denetim performansını çok fazla etkilemezken,  $K_2$  ve  $a_2$  parametrelerinin değişimleri denetim performansı üzerinde daha etkili olmaktadır. Tablo II 'de verilen parametre sınırları dışına çıktığında, denetim performansı giderek kötüleşmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri, parametrelerin doğrudan hastanın fiziksel özelliklerine bağlı değerlerden oluştuğu ve bu değerlerin hastadan hastaya değişebileceği gerçeğidir. Bu nedenle, yapılan çalışmada hasta değişse bile, yani parametreler değişse bile tasarlanan bulanık denetleyicinin yinede iyi bir denetim performansı sağladığı gösterilmeye çalışılmıştır. Elbette bu parametrelerin makul aralıklarda değişimlerini dikkate almak mantıklı olacaktır. Çünkü bu parametreler insandan insana değişse bile yinede belirli aralıklar içinde kalacaktır.

#### 4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, anestezi altında bulunan bir hastanın ortalama kan basıncını (OKB) ve dolayısıyla uyku derinliğini denetleyerek ameliyatın daha güvenli ve hastaya acı çektirmeden yapılabilmesi için bir Bulanık Mantık temelli denetleyici tasarlanmış ve denetim sisteminin benzetimi yapılmıştır. Temel amaç, ileride yapılabilecek gerçek uygulamalara bir zemin oluşturmaktır.

İstenen denetim performansını sağlayabilecek en basit yapıdaki denetleyici elbette uygulamada öncelikle tercih edilecektir. Bu nedenle, OKB denetiminin klasik doğrusal denetleyicilerle (PI, PID, vb.) yapılıp yapılamayacağı sorusu doğal olarak akla gelmektedir. Ancak bu noktada gözden kaçırılmaması gereken hususlara dikkat etmek gerekir: bu çalışmanın temel amacı ileride yapılabilecek gerçek uygulamalara bir alt yapı oluşturmaktır. Her ne kadar benzetim çalışmalarında insanı temsil etmek için doğrusal bir matematiksel model kullanılsa da, gerçek uygulamada insan doğrusal olmayan ve zamanla değişen bir sistemdir. Klasik doğrusal denetleyicilerin, doğrusal olmayan ve zamanla değişen sistemlerin denetiminde kullanılması çoğu zaman iyi bir denetim performansı sağlayamaz. Diğer taraftan bulanık denetleyiciler hem doğrusal hem de doğrusal olmayan ve zamanla değişen sistemlerin denetiminde rahatlıkla kullanılabilir. Ayrıca ve daha önemlisi; bulanık denetleyiciler, anestezi uzmanının bilgi ve tecrübelerini denetleyici içine yerleştirebilme özelliğine sahiptir. Bu özellik klasik doğrusal denetleyicilerde mevcut değildir. Bu nedenlerden dolayı, OKB denetiminde bulanık denetleyicilerin kullanılmasının ve benzetim çalışmalarının da bu yönde yapılmasının, bu çalışmanın temel amacı olan ileride yapılabilecek gerçek uygulamalara zemin oluşturma açısından daha uygun olacağı açıktır.

Tablo 2. Mamdani Tipi Bulanık Denetleyicinin Kabul Edilebilir Düzeyde Denetim Performansı Sağladığı Parametre Değişim Aralıkları

Parametreler	Parametrenin alabileceği en düşük değer		Parametrenin alabileceği en yüksek değer	
	% olarak	Değer olarak	% olarak	Değer olarak
$\tau_1$	%100 azaltım	0 sn	%200 artırım	69 sn
$\tau_2$	%50 azaltım	50.5 sn	%50 artırım	151.5 sn
$K_1$	%600 azaltım	-21	%50 artırım	-1.5
$K_2$	%50 azaltım	-10.95	%10 artırım	-6.6
$a_1$	%50 azaltım	0.05	%200 artırım	0.03
$a_2$	%30 azaltım	0.0042	%75 artırım	0.010

İleride yapılabilir çalışmalar için öneriler aşağıda sunulmuştur.

- Anestezi altındaki insanı (hastayı) daha doğru temsil eden, doğrusal olmayan ve zamanla değişen bir modelin elde edilmesi için çalışmalar yapılabilir. Bu çalışmada insan modeli oluşturulurken, bulanık mantık, yapay sinir ağları ve bunların bileşimleri kullanılabilir.
- Denetleyici olarak, denetim performansını ve dayanıklılığı artırmak için, basit bir bulanık yapı yerine, uyarlamalı bulanık veya yapay sinir ağ temelli bulanık yapılar kullanılabilir.
- Gerçek uygulamalar izlenerek, denetleyici içine yerleştirilmesi gerekebilecek hususlar tespit edilebilir ve denetim yapısı geliştirilebilir.
- Yapılan bu çalışmalar uygulamada doğrudan insan hayatı ile ilgili olduğundan, ilk gerçek uygulamalar deney hayvanları üzerinde yapılabilir.
- Modern denetim yöntemleri (kutup atama ve durum kestirimi), özellikle parametre değişikliklerine karşı dayanıklılığı bilinen kayma kipli gözlemleyiciler kullanılarak denetim performansı araştırılabilir.

## 5. REFERANSLAR

1. Zadeh LA, Fuzzy sets, Informat. Contr., vol. 8, 1965, pp. 338-353.
2. Meier R, Nieuwland J, Zbinden AM ve Hacisalihzade SS, Fuzzy Logic Control of Blood Pressure during Anaesthesia. IEEE Control Systems Magazine, vol. 12, no. 9, 1992, pp. 12-17.
3. Oshita S, Nakakimura K and Sakabe T, Hypertension Control during Anaesthesia, IEEE Engineering in Medicine and Biology, vol. 13, no. 5, 1994, pp. 667-670.
4. Mason, DG and Linkens DA, Hybrid Self-Organising Fuzzy Logic PID Controllers for Muscle Relaxant Anaesthesia, UKACC International Conference on Control, 1996, pp. 2-5.
5. Franklin GF, Powell JD and Naeini AE, Feedback Control of Dynamic Systems. Prentice-Hall, 2002.
6. Franklin GF, Powell JD and Workman M, Digital Control of Dynamic Systems. Addison Wesley, 1998.
7. Passino KM, Yurkovich S, Fuzzy Control, Addison Wesley-Longman. 1997, denetlenecek sistemin ayrık zaman transfer fonksiyonu).